



Munich Personal RePEc Archive

Jurdziak, Leszek and Kawalec, Witold

20. October 2006

Online at <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/529/>

MPRA Paper No. 529, posted 07. November 2007 / 01:06

Leszek JURDZIAK*, Witold KAWALEC*

* - Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej

słowa kluczowe: *wyrobisko docelowe, węgiel brunatny, cena węgla brunatnego, optymalizacja kopalń odkrywkowych, metoda Lerchs-Grossmann'a, bilateralny monopol*

Analiza wrażliwości wielkości i parametrów wyrobiska docelowego kopalni węgla brunatnego na zmianę ceny bazowej węgla

Zbadano wpływ wzrostu ceny bazowej węgla brunatnego na zmianę wielkości wyrobiska docelowego (podaży węgla) oraz obniżenie jakości uśrednionego węgla (spadek wartości opałowej oraz wzrost zawartości siarki i popiołu). Konsekwencją tych zmian jest względne obniżenie faktycznej ceny uśrednionego węgla oraz zmiany niezdyktowanej wartości kopalni. Zbadano również wpływ cen bazowej na zmiany stosunku nadkładu do węgla. Do analiz wykorzystano wyrobisko docelowe uzyskane dzięki optymalizacji metodą Lerchs'a-Grossmann'a oraz szereg jego wariantów (faz), wygenerowanych dla różnych poziomów ceny bazowej węgla. Podstawą analiz był studialny model jakościowy złoża węgla brunatnego „Szczerców”, który posłużył do opracowania modelu wartościowego poprzez zastosowanie formuły cenowej uwzględniającej jakość węgla.

Wstęp

Zbliżająca się liberalizacja rynku energii elektrycznej, plany integracji pionowej kopalń odkrywkowych węgla brunatnego z elektrowniami oraz łączenia ich w większe kompleksy energetyczne (np. BOT: Bełchatów, Opole, Turów) wymuszają rynkowe podejście do projektowania eksploatacji w polskich kopalniach węgla brunatnego. W niedalekiej przyszłości, po uwolnieniu cen energii i otwarciu naszego rynku na konkurencję zagraniczną, energetykę krajową czeka zaostrzona konkurencja cenowa. Przetrwanie na rynku i osiągnięcie sukcesu może okazać się niemożliwe bez sięgnięcia po metody optymalizacyjne. Dzięki nim i aktywnemu sterowaniu jakością węgla możliwe stanie się obniżenie kosztów, które stanowią do 60% kosztów wytwarzania energii elektrycznej z tego paliwa.

Zadanie to może ułatwić zbudowanie modelu bilateralnego monopolu: kopalnia – elektrownia¹, analiza jego funkcjonowania [Jurdziak 2003] i opracowanie szeregu planów działania dla różnych horyzontów czasowych.

¹ Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej wystąpił do Ministerstwa Nauki z wnioskiem o grant badawczy „Modelowanie wpływu ceny i jakości węgla brunatnego na opłacalność bilateralnego monopolu: elektrownia-kopalnia”, by opracować model funkcjonowania tego układu zarówno w postaci dwóch osobnych organizmów gospodarczych jak i zintegrowanego pionowo kompleksu energetycznego.

Konieczność stosowania metod optymalizacyjnych

Do niedawna projektując nową kopalnię rozważano zaledwie kilka wariantów jej rozwoju i zakładano wybieranie złoża z jak najmniejszymi stratami. Obecnie w dobie komputerów i dostępności algorytmów optymalizacyjnych oraz konieczności poddania eksploatacji surowców zasadom rynkowym można w przypadku kopalń odkrywkowych do każdego poziomu cen surowca znaleźć optymalne wyrobisko docelowe maksymalizujące wartość niezdyskontowanych przepływów pieniężnych (zwykle wg algorytmu Lerchs'a-Grossmann'a – opartego na teorii grafów [Jurdziak, Na czym... 2000]) oraz optymalny harmonogram rozwoju kopalni maksymalizujący jej wartość NPV lub zapewniający spełnienie wymagań jakościowych, przy wykorzystaniu algorytmów programowania dynamicznego (np. algorytm Tołwińskiego z USA wykorzystywany w programie NPVScheduler [Tołwiński 1995; Underwood 1998]). Oznacza to, że ustalona cena surowca ma decydujący wpływ nie tylko na ilość surowca, ale również na jego jakość oraz na rozkład w czasie strumienia eksploatowanej kopaliny.

Przeprowadzone w pracy [Specylak 1998] analizy wykazały, że wartość wyrobiska docelowego otrzymanego w wyniku algorytmu optymalizacji Lerchs'a-Grossmann'a przy wykorzystaniu cen bieżących okazała się o ponad 50% wyższa od wartości wyrobiska zbudowanego wg standardowych kryteriów bilansowości przy niespełnieniu 10% mniejszej ilości wydobytego węgla. Po zastosowaniu formuły (1) różnica wartości między wyrobiskiem docelowym, a bilansowym wyniosła 24% przy wydobyciu tej samej ilości węgla [Specylak 1999]. Brak uwzględnienia współczesnych możliwości analiz numerycznych, zarówno przy projektowaniu nowych wyrobisk jak i modyfikacji istniejących kopalń może, więc prowadzić do nieoptymalnych, a więc kosztownych decyzji.

Zastosowania optymalizacji w kopalniach węgla brunatnego

Algorytmy optymalizacji wyrobiska docelowego kopalni odkrywkowej w oparciu o kryterium maksymalizacji wartości kopalni (m.in. algorytm Lerchs'a-Grossmann'a - LG) są znane od lat 60-tych [Whittle, także Jurdziak 2000,]. Ich powszechne wykorzystanie stało się możliwe z chwilą wprowadzenia komputerów PC oraz trójwymiarowego modelowania złoża i wyrobisk kopalnianych, dostępnego w specjalistycznych pakietach oprogramowania geologiczno-górniczego (m.in. DATAMINE). Ostatnio w związku z rozwojem nowych metod optymalizacji prowadzących do tworzenia optymalnych harmonogramów wydobywania (NPVScheduler i RMScheduler z firmy Earthworks oraz Four-X z algorytmem MILAWA i środowiskiem PROTEUS z Whittle Programming) wraz z generowaniem stanów pośrednich poprzez maksymalizację wartości bieżącej netto (NPV) i sterowania jakością urobku metody te wkraczają do górnictwa wymagającego nie tylko czysto ekonomicznego podejścia (np. górnictwa rud metali nieżelaznych), lecz również zwracającego baczność na jakość surowca: cementownie, górnictwo rud żelaza, kopalnie węgla brunatnego i kamiennego.

Zastosowanie metod optymalizacji w górnictwie węgla brunatnego nie jest tak powszechne na świecie jak np. w przypadku kopalń rud metali nieżelaznych. Metody optymalizacji ekonomicznej korzystające z algorytmu L-G były jednak z powodzeniem stosowane m.in. w Grecji [Mastoris 1994, Mastoris 1995, opis Jurdziak, Kawalec 2000,] i Indiach [Nakara 2000]. Oprogramowanie DATAMINE jest również wykorzystywane w firmie projektowej Rheinbraun Engineering opracowującej projekty na rzecz górnictwa węgla brunatnego w Niemczech i w firmie Public Power Corporation z Grecji [Leontidis 2001, Leontidis 2002, Optimising 2001] oraz wielu kopalniach odkrywkowych węgla na całym świecie. Studialne prace zrealizowano również w Polsce [Jurdziak, Kawalec 2000, Specylak 1996, 1998, 1999] i są kontynuowane nadal pod kątem ich integracji z systemem transportu taśmowego². Do tej pory programów trójwymiarowej optymalizacji nie zastosowano jednak w Polsce w praktyce projektowej. Aby móc w pełni wykorzystać możliwości tych stosunkowo nowych narzędzi optymalizacyjnych w warunkach liberalizacji rynku energii konieczne jest ich zastosowanie do określenia wpływu ceny węgla na jego ilość i jakość oraz dopasowanie ich do wymagań rynku energetycznego.

Przedstawione dalej założenia i wyniki optymalizacji wyrobiska na studialnym modelu złożu „Szczerców” pochodzą z pracy [Jurdziak, Kawalec Optymalizacja..., 2000]. Zostały przytoczone, gdyż do zaprezentowania wpływu ceny bazowej na wielkość wyrobiska docelowego i jakość węgla wykorzystano właśnie opracowany wtedy model i wyniki przeprowadzonych optymalizacji.

Model wartościowy złoża „Szczerców”

Podstawą do zbudowania modelu wartościowego złoża [Jurdziak Zasady..., 2000] był jakościowy model blokowy złoża Szczerców [Specylak 1996]. Dla modelowania ceny węgla posłużono się cenami bieżącymi [Specylak 1998] oraz formułą ceny zaproponowaną w Komitecie Górnictwa PAN [Specylak 1999], w której cena węgla jest funkcją liniową głównych parametrów jakościowych:

$$C = C_B \times \left[1 - \frac{Q_B - Q_R}{6724} - \frac{A_R - A_B}{57} - \frac{S_R - S_B}{10} \right] \quad (1)$$

gdzie:

C - cena sprzedaży węgla brunatnego, zł

C_B - cena bazowa węgla zatwierdzona w 1999 przez Prezesa URE, (PLN/Mg)

Q_B - bazowa wartość opałowa węgla brunatnego, (kJ/kg)

Q_R - rzeczywista wartość opałowa węgla brunatnego, (kJ/kg)

² Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej aktualnie realizuje grant badawczy z Ministerstwa Nauki Nr 0882/T12/2002/23 w zespole T12 poświęcony integracji nowoczesnych metod projektowania i optymalizacji kopalń odkrywkowych węgla brunatnego ze stosowanym w nich systemem transportu ciągłego przy użyciu przenośników taśmowych.

A_R - rzeczywista zawartość popiołu w węglu brunatnym, (%)

A_B - bazowa zawartość popiołu w węglu brunatnym, (%)

S_R - rzeczywista zawartość siarki w węglu brunatnym, (%)

S_B - bazowa zawartość siarki w węglu brunatnym, (%)

Przyjęto: $C_B=21.3168$ zł, $Q_B=7786$ kJ/kg, $A_B=10.1\%$, $S_B=0.61\%$.

Wartości graniczne: kaloryczność ponad 3350 kJ/kg, zawartość siarki poniżej 2%, zawartość popiołu poniżej 40%, generalny kąt skarpowy - 11°

Wprawdzie model wartościowy sporządzono dla nieaktualnej ceny bazowej i kosztów jednak nie ma to większego wpływu dla badanych zależności jakościowych. Optymalizację przeprowadza się, bowiem dla stosunku wartości węgla do kosztów (4.74:1), a ten nie uległ większym zmianom. Wpływ zmian tego parametru jest właśnie przedmiotem analizy wrażliwości i prowadzi do wygenerowania szeregu wyrobisk docelowych dla różnych poziomów jego wartości. Zależności ilościowe, zwłaszcza wartość bezwzględna kopalni, nie jest poprawna jednak nie ona jest tu przedmiotem analizy. Istotne są wzajemne relacje cen i kosztów oraz skala zmian wartości.

Optymalizacja wyrobiska „Szczerców” w programie NPVScheduler

Program NPVScheduler firmy Earthworks Corporation z Australii stanowi pomocne narzędzie dla inżynierów i planistów do sporządzania długoterminowych planów rozwoju kopalń i postępu wyrobisk. Wcześniejsze programy optymalizujące kopalnię nie wykraczały poza generowanie powierzchni wyrobiska docelowego - co stanowi odpowiedź jedynie na niewielki fragment całego zadania. Planista staje, bowiem później przed trudnym i żmudnym zadaniem zaprojektowania stanów pośrednich kopalni i przygotowania harmonogramu wydobywania. Program NPVScheduler zawiera kompletne rozwiązanie planowania długoterminowego poprzez optymalizację nie tylko wyrobiska docelowego, ale również projektowanie pośrednich etapów jego rozwoju (pushbacks) i sporządzenie harmonogramu wydobywania [Jurdziak Wartość..., 1999].

Program ten może importować dane z różnorodnych źródeł. Tutaj wykorzystano przestrzenny, jakościowy model blokowy opracowany w systemie DATAMINE. Założenia modelowe: formuła cenowa i parametry geotechniczne (por. poprzedni rozdział), zostały przejęte z prac [Specylak 1996, 1998, 1999].

W NPVScheduler cena może być traktowana dwojako: poprzez powiązanie z masą surowca użytecznego w kopalni (zawartość kruszcu w rudzie np. g/uncje) lub jako procentowa zawartość (okruszczowanie %). Z uwagi na formułę cenową, która odnosi cenę aktualną do poziomu bazowego, można ją traktować jako wskaźnik procentowy. Ceny bloków w modelu zostały odpowiednio przeliczone i potraktowane jako „okruszczowanie”, a w programie zadano cenę bazową jako wartość jednostki kopaliny użytecznej.

Pierwszym etapem przetwarzania danych w programie jest rozpoczęcie nowego projektu i wczytanie modelu blokowego złoża. Dla zbudowania modelu ekonomicznego określono jako skałę użyteczną: pokład główny węgla, kompleks nad- i podwęglowy, a za produkt przyjęto węgiel. Program umożliwia zdefiniowanie wielu produktów i rodzajów przeróbki oraz określenie rozmaitych kosztów z nimi związanych: wydobywania (za koszt wydobywania 1 m³ nadkładu i węgla przyjęto 4.50 zł), przeróbki, sprzedaży, rekultywacji itd. Określenie odpowiednich kosztów przeliczonych na jednostkę wydobytego nadkładu i kopaliny jest, podobnie jak przyjęcie odpowiedniej formuły cenowej, ważnym zagadnieniem dla poprawności modelu ekonomicznego złoża.

Model blokowy stanowiący podstawę optymalizacji rozwoju wyrobiska składał się z 64,124 bloków (23x41x68) o wymiarach 200x200x6 metrów. Pośród nich było 7,475 bloków węglowych, z czego 875 kompleksu nadwęglowego, 4,359 pokładu głównego i 2,241 kompleksu podwęglowego.

Przed wygenerowaniem wyrobiska docelowego określa się wydajność wydobywania kopaliny użytecznej (przyjęto 25 mln t/rok), stopę dyskontowania (zastosowano 8% - analizę prowadzi się bowiem w cenach stałych bez uwzględnienia inflacji) oraz wymagania dotyczące nachylenia skarp bocznych wynikające z założeń geotechnicznych (przyjęto 11°). W programie NPVScheduler wymagane skarpy można modelować na wiele różnych sposobów. Dostępne są specjalne narzędzia do graficznego definiowania regionów i skarp oraz wprowadzania innych ograniczeń.

Do programu można wprowadzić i wykorzystać do optymalizacji harmonogram wydobywania powierzchni wyrobiska docelowego i jego faz zaprojektowane w innych programach geologiczno-górnictwych lub systemach CAD. Jest to wygodna opcja pozwalająca planistom ocenić i porównać „ręcznie” przygotowane plany rozwoju kopalni (zarówno nowej jak i istniejącej) z rozwiązaniami optymalnymi opracowanymi w programie NPVScheduler lub dobrać optymalny harmonogram rozwoju dla gotowych planów rozwoju.

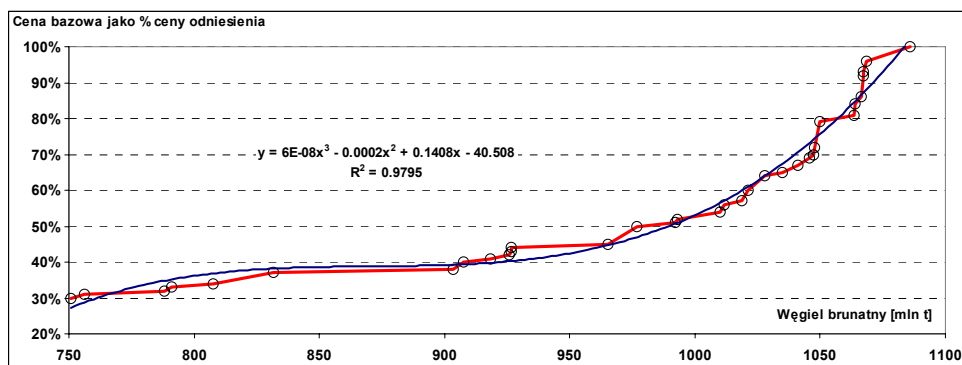
Parametryzacja wyrobiska docelowego

Przeprowadzony proces parametryzacji wyrobiska docelowego, będący swoistą analizą wrażliwości kształtu i wielkości tego wyrobiska na zmianę ceny węgla (właściwie stosunku ceny kopaliny do kosztów wydobywania), doprowadził do utworzenia kilkudziesięciu faz. Każda z nich jest wyrobiskiem docelowym dla innego poziomu cen. Dla każdej z nich system przeprowadził analizę ilości nadkładu i węgla w jej wnętrzu, obliczył jej wartość oraz wyznaczył uśrednione parametry jakościowe. Dzięki temu można było przeprowadzić analizę wpływu ceny bazowej węgla, będącej przedmiotem negocjacji pomiędzy elektrownią, a kopalnią, na wiele istotnych dla ich funkcjonowania parametrów, często decydujących o osiągniętych zyskach. Cenę bazową przedstawia się jako procent ceny odniesienia, którą przyjęto jako podwojoną wartość ceny bazowej z 1999r.

Ilość węgla w wyrobiskach docelowych (fazach) jako krzywa podaży węgla dla elektrowni

Pierwszym i najistotniejszym parametrem jest ilość węgla w poszczególnych fazach. Z uwagi na to, że fazy są wyrobiskami maksymalizującymi niezdyktowaną wartość kopalni przy danym poziomie cen, mogą wyznaczyć podaż węgla z kopalni dla elektrowni. Podaż, zgodnie z definicją, stanowi relację pomiędzy ceną, a ilością produktu, którą jest w stanie i chce dostarczyć na rynek producent przy każdej z cen, po której jego produkt może być sprzedany.

Przyjmując, że kopalnia jest racjonalnym producentem dążącym do maksymalizacji swoich zysków, to dla danego poziomu cen kopalnia będzie mogła, co wynika z nałożonych ograniczeń i wymogów technologicznych, i chciała dostarczyć dokładnie tyle węgla ile mieści się w wyrobisku docelowym. Każda inna ilość węgla i przyjęcie innego kształtu wyrobiska zmniejszy niezdyktowaną wartość kopalni.



Rys.1 Podaż węgla z kopalni dla elektrowni – ilość węgla w poszczególnych fazach wyznaczonych różnym poziomem ceny bazowej

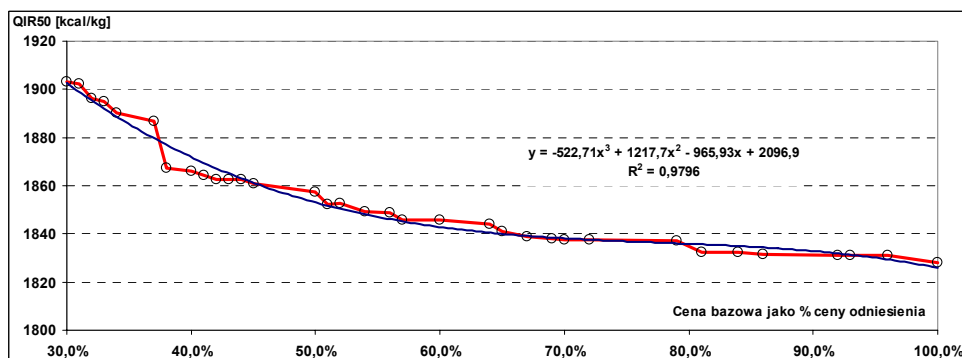
Fig.1 Lignite supply for power plant – quantity of lignite in particular phases calculated for different base lignite price levels

Na rys.1 przedstawiono zależność ilości węgla od ceny w układzie charakterystycznym dla wykresów podaży. Zmienną zależną jest tu, bowiem ilość węgla, a nie cena, która jest kształtowana poprzez negocjacje. Z uwagi na to, że ilość węgla w danym złożu jest ograniczona, krzywa podaży musi od pewnej ceny (ceny maksymalizującej wydobywanie) stać się linią pionową. Zwiększanie ceny powyżej tej granicy może przyczynić się wprawdzie do zwiększenia zysków kopalni, nie może jednak wpłynąć na wzrost podaży węgla.

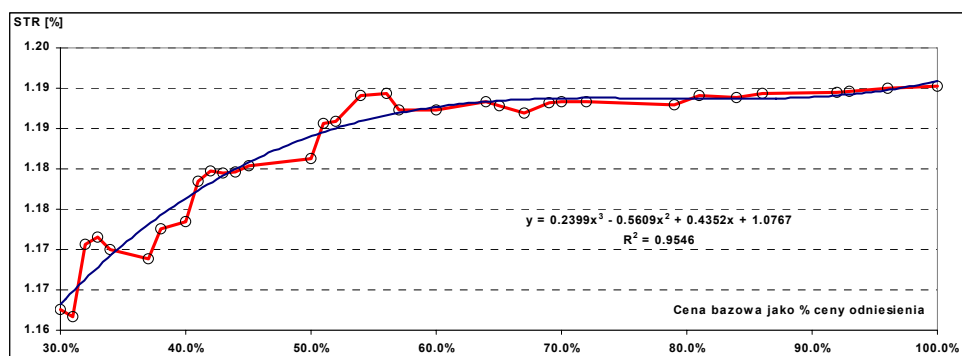
Pośredni wpływ ceny bazowej na jakość uśrednionego węgla

Negocjacje pomiędzy elektrownią, a kopalnią dotyczą ceny bazowej występującej we wzorze (1) lub podobnych formułach. Faktyczna cena płacona przez elektrownię kopalni będzie jednak od niej różna, gdyż jest ona uzależniona

od parametrów jakościowych takich jak: kaloryczność, zawartość siarki i popiołu. Gdy cena bazowa rośnie to kopalnia opłaca się eksploatować coraz uboższe partie węgla, co wpływa na obniżenie jego uśrednionych parametrów jakościowych. Zmiany te zaprezentowane są na rysunkach 2-4.

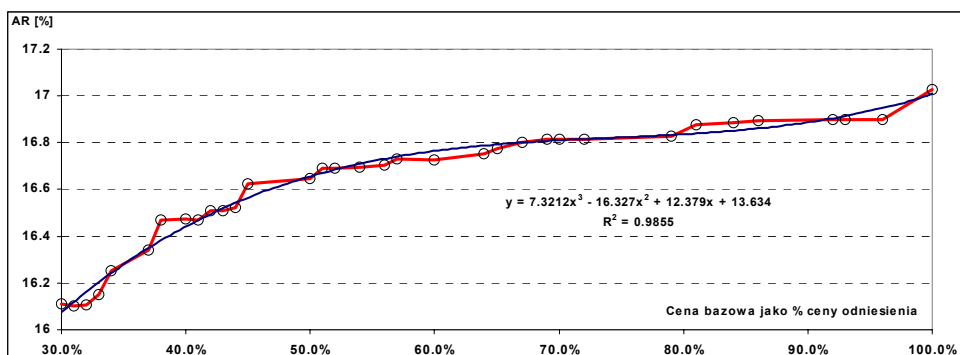


Rys.2 Pośredni wpływ ceny bazowej na średnią wartości opałową węgla w fazach
Fig.2 The influence of base price of coal on average calorific value of coal in phases.



Rys.3 Pośredni wpływ ceny bazowej na średnią zawartość siarki w węglu w fazach
Fig.3 The influence of base price of coal on average sulphur content in coal in phases.

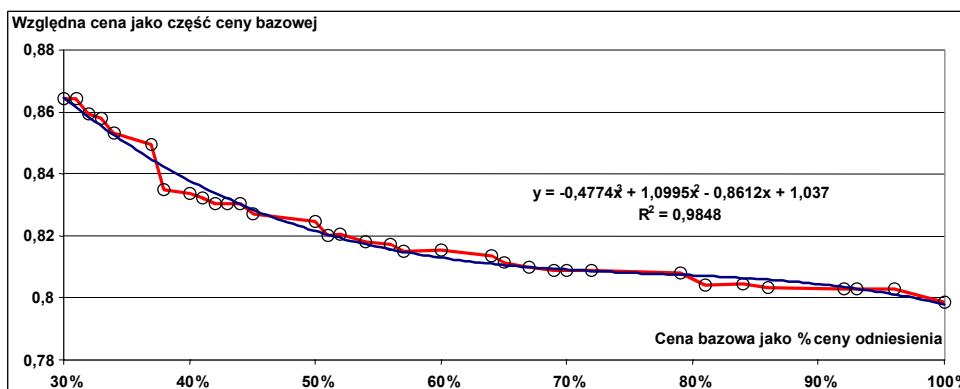
Można zauważyć, że w miarę wzrostu ceny bazowej wszystkie parametry jakościowe ulegają systematycznemu pogorszeniu, choć tempo zmian maleje i asymptotycznie zbliża się wartości granicznej. Pogorszenie parametrów nie jest jednak zbyt duże. Kaloryczność spada o 3.9% do poziomu 1828 kcal/kg (rys.2), zawartość siarki rośnie o 2.4% do wartości 1.19% (rys.3), a zapopielenie wzrasta o 5.7% do poziomu 17% (rys.4).



Rys.4 Pośredni wpływ ceny bazowej na średnią zawartości popiołu w węglu w fazach
Fig.4 The influence of base price of coal on average ash content in coal in phases.

Wpływ ceny bazowej na spadek względnej ceny uśrednionego węgla

Pogorszenie parametrów jakościowych węgla wpływa na zmianę względnej ceny uśrednionego węgla. Względną cenę stanowi część formuły (1) zawarta w nawiasach kwadratowych. Można ją traktować jako swoistą „karę”, gdy jest ona mniejsza od 1, za odchylenie parametrów jakościowych węgla od węgla bazowego. Przeprowadzone obliczenia wykazały, że choć procentowe zmiany jakości węgla są niewielkie to faktyczna cena z poziomu 86.4% ceny bazowej obniżyła się do 79.9%, czyli aż o 7.6% (rys.5). Wprawdzie zmiana ta wydaje się niezbyt duża to należy pamiętać, że dotyczy ogromnych mas węgla (blisko miliarda ton) i w związku z tym ma ogromny wpływ na wartość kopalni.

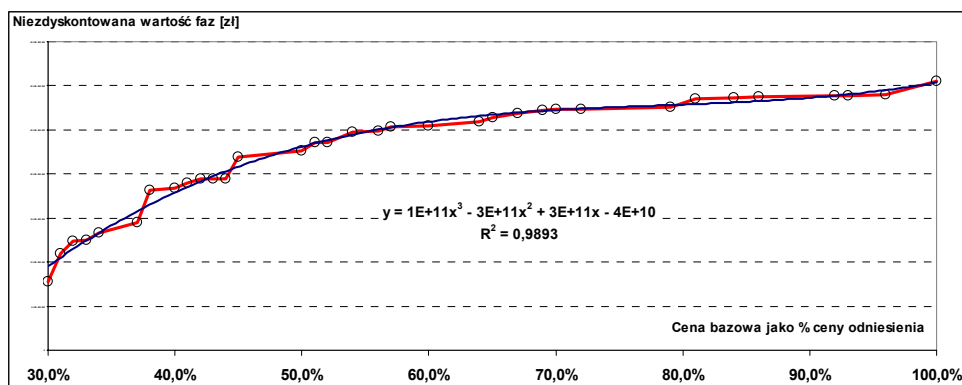


Rys.5 Wpływ ceny bazowej na względną cenę uśrednionego węgla w fazach
Fig.5 The influence of base price of coal on relative price of coal in phases.

Wpływ ceny bazowej na niezdyskontowaną wartość kopalni

Na następnym rysunku przedstawiony jest wpływ zmian ceny bazowej na niezdyskontowaną wartość poszczególnych wariantów wyrobiska docelowego

(faz). Nie podano wartości liczbowych na osi Y z uwagi na nieaktualną wartość ceny bazowej oraz poufność danych.



Rys.6 Wpływ ceny bazowej na niezdyktowaną wartość faz
Fig.6 The influence of base price of coal on undiscounted value of phases.

Niezależnie jednak od faktycznych wartości można zauważyć niewielki wzrost wartości kopalni dla ceny bazowej powyżej 80% ceny odniesienia.

Na ten wykres należy jednak patrzeć łącznie z wykresem obrazującym podaż węgla (rys.1). Zmiana cen bazowej z 70% do 100% ceny odniesienia tylko nieznacznie zwiększa wielkość kopalni – o ok. 50 mln ton węgla.

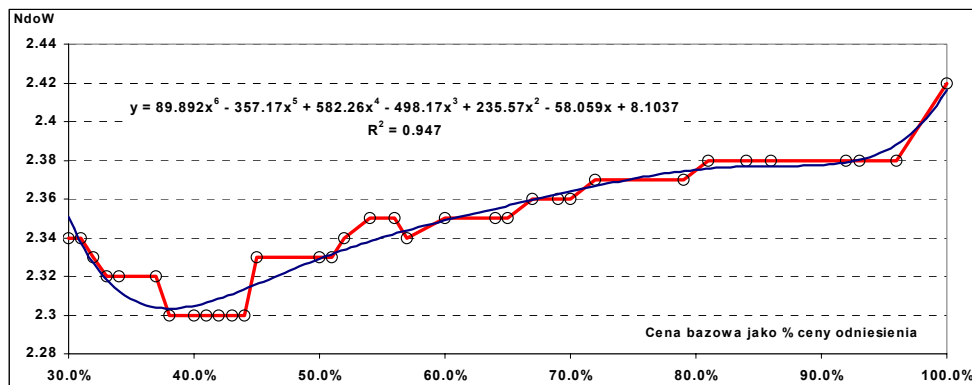
Wpływ ceny bazowej na zmianę stosunku nakładu do węgla

Oczywiście dodatnia niezdyktowana wartość kopalni nie gwarantuje, że wartość NPV kopalni będzie dodatnia. Zmiany wartości NPV poszczególnych faz mogą przebiegać zupełnie inaczej, gdyż przy ich obliczaniu istotna jest kolejność i tempo wydobywania. Dla wyznaczenia tych zmian potrzebna jest bardziej szczegółowa analiza wymagająca sporządzenia wielu optymalnych harmonogramów wydobywania dla każdej z faz. Wyznaczone wartości niezdyktowane są jednak obiecujące.

Stabilność wartości faz przy wzroście wielkości kopalni można tylko częściowo wytłumaczyć spadkiem faktycznej ceny uśrednionego węgla. Musi się ona wiązać też ze wzrostem stosunku nakładu do węgla (NdoW). Sięganie po słabszy jakościowo lub głębiej położony węgiel pociąga za sobą konieczność zdjęcia większej ilości nakładu. Po wzroście ceny bazowej węgla zdejmowanie większej ilości nakładu mogło stać się opłacalne.

Na kolejnym rysunku przedstawiono jak zmienia się stosunek nakładu do węgla przy wzroście ceny bazowej.

W stosunku do najniższej wartości NdoW jego wartość wzrosła o 5.2% z poziomu 2.3 do 2.42. Również te zmiany nie są znaczące, co dobrze rokuje opłacalności eksploatacji złoża „Szczerców”.



Rys.7 Wpływ ceny bazowej na zmianę stosunku nadkładu do węgla w fazach
Fig.7 The influence of base price of coal on strip ratio in phases.

Konkluzje

Przedstawione analizy wskazują na kilka kluczowych spraw, które wymagają podkreślenia i szerokiego upowszechnienia.

1. **Uzyskane rezultaty są niezbędne zarządowi kopalni do strategicznego planowania jej rozwoju oraz negocjacji ceny bazowej z elektrownią.** Znajomość wpływu ceny bazowej na zmianę wielu parametrów jakościowych, technicznych i ekonomicznych jest kluczowa dla podejmowania optymalnych decyzji, co do rozwoju kopalni. Przy tej skali operacji najmniejsze odchylenia od wartości optymalnych mogą kosztować kopalnię wiele milionów złotych. Dotyczy to również negocjacji ceny bazowej. Warto więc znać wszystkie konsekwencje podjętych decyzji cenowych.
2. **Sytuacja negocjacyjna pomiędzy kopalnią węgla brunatnego, a elektrownią jest szczególnym przypadkiem klasycznego bilateralnego monopolu.** Można ją rozwiązać metodami mikroekonomii i teorii gier. Z uwagi na ograniczenia wynikające z faktu, że jedna ze stron jest odkrywkową kopalnią węgla standardowe założenia i ograniczenia muszą być zmodyfikowane i należy dla nich znaleźć nowe rozwiązania. Podstawą tych modyfikacji powinny być zaprezentowane tu metody optymalizacji i określone w tej pracy zależności. Prace w tym kierunku zostały już podjęte w Instytucie Górnictwa Politechniki Wrocławskiej (por. przypis Nr 1 i [Jurdziak 2003]).
3. **Przeprowadzenie powyższych analiz wymaga wykorzystania nowoczesnego oprogramowania geologiczno-górniczego.** Dzięki niemu w stosunkowo krótkim czasie można było wykonać zaawansowane analizy jakości złoża, jego wartości, przeprowadzić optymalizację w celu znalezienia wyrobiska docelowego oraz przeprowadzić

analizę jego wrażliwości na zmianę ceny bazowej węgla. Przeprowadzenie podobnych, nawet szacunkowych, obliczeń „manualnie” byłoby niemożliwe.

Na każdym z wykresów przedstawiono linie trendu wraz równaniem (najczęściej wielomianem 3 stopnia) oraz współczynnikiem korelacji (obrazującym skalę dopasowania) by wykazać, że wykryte, nieciągłe zależności (zmiany wielkości faz odbywają się skokowo) można dobrze przybliżyć ciągłymi zależnościami funkcyjnymi, które można wykorzystać przy optymalizacji decyzji.

Przedstawione dane i analizy sporządzono w oparciu o studialne dane i wymagałyby ponownego przeliczenia, jeśli miałyby stanowić podstawę rzeczywistych działań, negocjacji i planów rozwojowych.

W pracy wykorzystano program DATAMINE Studio™ oraz program NPVSchedulerr+.

Literatura

1. Jurdziak L., 1999, Wartość bieżąca netto w projektowaniu kopalń odkrywkowych - możliwości programu MaxiPit i NPV Scheduler, Materiały konferencyjne, Ekonomika, Organizacja i Zarządzanie w Górnictwie '99", Ustroń-Jaszowiec.
2. Jurdziak L., 2000, Na czym polega ekonomiczna optymalizacja kopalń odkrywkowych, VII Krajowy Zjazd Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław.
3. Jurdziak L., 2003, O potrzebie szczegółowego sterowania jakością węgla brunatnego na zliberalizowanym rynku energii – propozycja utworzenia modelu bilateralnego monopolu: kopalnia -elektrownia. Artykuł złożony w Górnictwie Odkrywkowym.
4. Jurdziak L., 2003, Odkrywkowa kopalnia węgla brunatnego i elektrownia jako bilateralny monopol w ujęciu klasycznym. Górnictwo i Geologia VII, Wrocław 2003 (złożony).
5. Jurdziak L., 2000, Zasady tworzenia przestrzennych modeli rozkładu wartości złoża i kosztów eksploatacji na potrzeby programów optymalizacyjnych. Górnictwo Odkrywkowe Nr 5-6, Wrocław.
6. Jurdziak L., Kawalec W., 2000, Optymalizacja rozwoju odkrywki w oparciu o cenę kopaliny i wymagania jakościowe na przykładzie złoża „SZCZERCÓW”, VII Konferencja „Wykorzystanie Zasobów Złóż Kopaliny Użytecznych, Zakopane
7. Jurdziak L., Kawalec W., 2000: Wykorzystanie lokalnie aktualizowanego modelu przestrzennego złoża dla szczegółowego sterowania jakością węgla brunatnego, VII Konferencja „Wykorzystanie Zasobów Złóż Kopaliny Użytecznych, Zakopane
8. Leontidis M., Roumpos Ch., Dadswell J., 2001, A question of geology. World Coal, August.
9. Leontidis M., Roumpos Ch., Dadswell J., 2002, PPC Embark on Multi-Phase Software Implementation. Coal International / Mining & Quarry World November/ December.
10. Mastoris J., Topuz E., 1995, Modeling, optimization and sensitivity analysis of the final pit limits for a lignite deposit, Mining Engineering – November 1995.
11. Mastoris J., Topuz E., Karamis M., Schilizzi P., Modis K., 1994, An application of geostatistical modeling and 3-D optimisation of the final pit limits for a lignite deposit, Mine Planning and Equipment Selection, 1994 Balkema, Rotterdam.

12. Nakara S., Amaranath N., Satyanarayana, 2000, Optimizing extract of Mineral body by using DATAMINE software – „A case study Vastan Lignite Mine – GIPCL”. Asian User’s Meeting w Udaipur, Indie November.
13. Optimising Extract of Mineral Body, 2001, Coal International, January/February.
14. Specylak J., Borowicz A., Ślusarczyk G., Kawalec W., 1996, Wstępna ocena złoża węgla brunatnego Bełchatów – pole Szczerców przy użyciu techniki komputerowej, Górnictwo Odkrywkowe nr 3, Wrocław
15. Specylak J., Kawalec W., 1998, Modelowanie geometrii odkrywki węgla brunatnego z zastosowaniem algorytmu optymalizacji Lerchs’a-Grossmann’a, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, VI Konferencja Wykorzystanie zasobów złóż kopalin użytecznych, Zakopane
16. Specylak J., Kawalec W., 1999, Projektowanie struktury wyrobiska eksploatacyjnego na cyfrowym modelu złoża węgla brunatnego, Materiały konferencyjne, „Optymalizacja wydobywania kopalin przy wykorzystaniu technik informatycznych”, Turów.
17. Tolwinski B., Golosinski T.S., 1995, Long term open pit scheduler, Mine Planning and Equipment Selection 1995, Balkema – Rotterdam
18. Underwood R., Tolwiński B., 1998, A mathematical programming viewpoint for solving the ultimate pit problem, European Journal of Operational Research, 107 (1998) 96-107.
19. Whittle J., The Facts and Fallacies of Open Pit Optimization. Materiały firmy Whittle Programming Pty Ltd

Leszek JURDZIAK*, Witold KAWALEC*

* - Institute of Mining Engineering
at Wrocław University of Technology

key words: *ultimate pit, lignite, lignite price, pit optimization, Lerchs-Grossman method, bilateral monopoly*

Sensitivity analysis of lignite ultimate pit size and its parameters on change of lignite base price

The influence of lignite base price on the size of ultimate pit (lignite supply) and decrease of lignite quality (decrease of calorific value and increase of sulphur and ash content) has been analyzed. The consequence of these changes is the relative decrease of real price of averaged lignite and changes of non-discounted pit cash flows. The influence of lignite base price on strip ratio has also been calculated. The ultimate pit from Lerchs-Grossmann optimization as well as phases from parameterization process conducted in NPVScheduler program has been used for calculations. The base of analysis was the quality model of “Szczerców” deposit used for creation of value model with usage of price formula taking into account lignite quality parameters.

Praca powstała w ramach grantu badawczego Ministerstwa Nauki
Nr 0882/T12/2002/23.